

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE HARDWARE UTILIZADO PARA O CONTROLE DE GERADORES DE INDUÇÃO

Fernando Weirich Schrenk¹, Tadeu Vargas¹, Cassiano Rech², Fabiano Salvadori² & Robinson Figueiredo de Camargo²

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI – Ijuí - RS

¹ Acadêmico do curso de graduação em Engenharia Elétrica- UNIJUI

email: fernandoschrenk@bol.com.br, tadeu.vargas@unijui.edu.br

² Professor do curso de graduação em Engenharia Elétrica – UNIJUI – Ijuí – RS

email: cassiano.rech@unijui.edu.br, f.salvadori@unijui.edu.br, robinson.camargo@unijui.edu.br

Resumo. O objetivo deste artigo é a implementação de sistemas de hardware utilizado para o controle de geradores de indução de pequeno porte isolados ou interligados na rede elétrica. Para o protótipo foram utilizados um gerador de indução, um motor de indução (para força mecânica), inversor trifásico, kit DSP e um sistema de hardware para aquisição de dados e controle do inversor. Com o projeto implementado obteve-se a regulação da tensão gerada, operando a vazio e com cargas, equilibradas e desequilibradas.

Palavras-chave: hardware, aquisição, gerador de indução.

1. INTRODUÇÃO

A construção das Pequenas Centrais Hidroelétricas (PCH's), está ligada ao crescimento econômico do país. Neste sentido, uma alternativa interessante é a utilização de máquinas de indução em substituição às máquinas síncronas normalmente utilizadas, devido ao seu menor custo, maior robustez, baixos custos de manutenção e alta densidade de potência, conforme [1] e [2].

Este artigo trata do desenvolvimento de um sistema de hardware utilizado para o controle de geradores de indução de pequeno porte. O protótipo é composto basicamente por um gerador de indução de 5CV (tipo rotor em gaiola), o qual recebe a energia mecânica de um motor de indução de 7,5CV, acionado por um inversor de frequência. Um banco de capacitores fornece a energia reativa necessária para a excitação do gerador, visto em [3]. Contudo, no momento em que a carga no sistema aumenta, a necessidade de potência reativa aumenta. A energia adicional é fornecida por meio de um inversor que atua como um compensador de reativos, com a finalidade de manter a tensão na carga regulada, segundo [4]. As aquisições dos sinais de tensão CA, correntes CA e tensão CC do barramento, são utilizadas para o controle do inversor, o mesmo é feito por meio de um processador digital de sinal (DSP) TMS320F2812 da *Texas Instruments, Inc*, o qual gera três pares de sinais PWM (*Pulse Width Modulation*) necessários para a comutação das chaves do compensador de reativos. Os PWM's gerados pelo DSP são enviados ao inversor através de fibra óptica. Diagrama de blocos na Fig. 1.

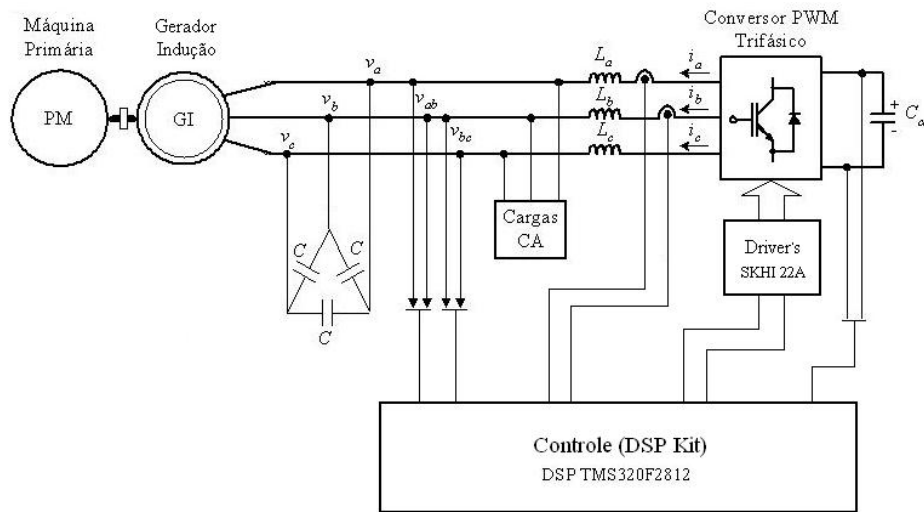


Figura 1. Diagrama de Blocos do Projeto.

2. AQUISIÇÃO

A aquisição dos dados é feita através de três placas distintas, uma para as correntes, uma para as tensões de linha no ponto de acoplamento comum e outra para a tensão de barramento CC também do conversor.

2.1 Placa de Corrente

A placa de corrente utiliza três sensores de “efeito hall” possibilitando a aquisição de três valores de corrente alternada separadamente. O modelo de sensor utilizado foi o LA-100P da LEM que possui resposta em corrente, razão de conversão 1:2000 e capacidade nominal de 100A, conforme [5]. O circuito foi configurado para que se tenha três escalas de corrente: 25A, 50A e 100A, sendo definidas por três diferentes valores de resistência acopladas na saída de cada sensor segundo a Fig. 2.

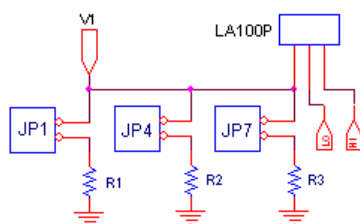


Figura 2. Escalas de corrente.

Essa configuração garante que o sinal de saída de cada sensor não ultrapasse $1,5 V_{pp}$ no valor máximo de cada escala. Para que possa ser feita a conversão A/D no sinal gerado pelo sensor é necessário o condicionamento deste sinal, isto é, aplica-se um offset de $1,5 V_{cc}$ para que o sinal tenha apenas valores positivos independente do valor de corrente medida pelo sensor. Essa adequação é feita utilizando-se um circuito que baseia-se principalmente em um amplificador operacional (TL-082CP) onde o ganho é unitário e o sinal da saída do sensor é somado à tensão de offset, como pode ser visto na figura 3. Dessa forma o sinal de aquisição que é convertido varia de zero a $3 V_{pp}$ de acordo com a corrente no primário do sensor tendo um valor médio fixo de $1,5 V$ imposto pelo offset.

A Fig. 3 representa o circuito de adequação, onde, V_m é o sinal na saída do sensor e V é o sinal de aquisição das correntes.

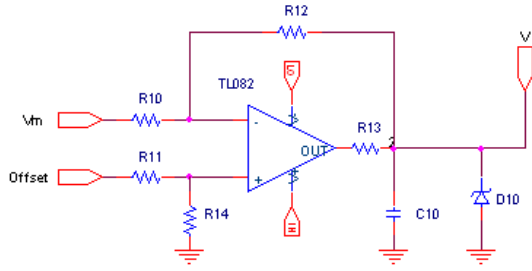


Figura 3. Adequação do sinal de corrente.

2.2 Placa de Tensão de Linha

A placa de tensão de linha foi equipada com três transformadores com relação de transformação 440V:44V e potência nominal de 0,5W. O circuito foi projetado para a aquisição de tensões de até 400 V_{pp}.

Da mesma forma que na placa de corrente, o sinal de saída do transformador não pode ultrapassar 1,5 V_{pp} no maior valor de tensão medida. O condicionamento do sinal também é feito nesse caso, semelhantemente à placa de corrente. O circuito utiliza um (TL-082CP) para somar o sinal da saída do transformador ao offset de 1,5 V_{cc} conforme Fig. 4. Com o condicionamento tem-se o sinal de aquisição da tensão variando entre zero e 3 V_{pp}, de acordo com as equações de ganho representadas nas equações (1) e (2) a seguir.

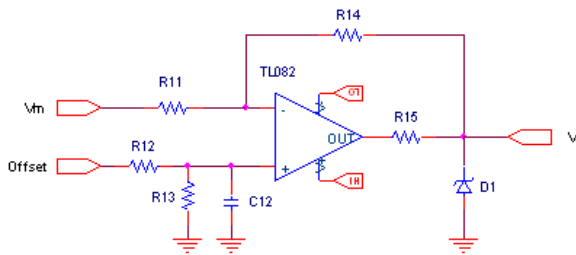


Figura 4. Adequação do sinal de tensão CA.

$$V = \left(\frac{R12}{R12 + R13} \right) \cdot \text{Offset} \cdot \left(1 + \frac{R14}{RE} \right) - \left(Vm \cdot \frac{R14}{RE} \right) \quad (1)$$

$$RE = R11 + \left(\frac{R12 \cdot R13}{R12 + R13} \right) \quad (2)$$

2.3 Placa de Tensão de Barramento

Para a aquisição da tensão do barramento CC foi desenvolvida uma placa que utiliza um sensor de efeito hall com resposta em corrente, e razão de conversão 25:10.

O circuito foi projetado para tensões entre zero e 500 V_{cc}. O sensor utilizado foi o modelo LV20-P da LEM que trabalha com uma corrente máxima de 10 mA no primário, visto em [6]. A saída do sensor é conectada a um resistor que garante uma tensão máxima de 1,7 V_{cc} para o maior valor de tensão medida, neste caso 500 V_{cc}. Para a conversão A/D deste sinal também é necessário o seu condicionamento. Este é feito utilizando-se um amplificador operacional TL-082CP configurado para se obter um ganho de 1,57 no sinal de entrada. Dessa forma o sinal de aquisição da tensão de barramento varia para seus valores de máximo e mínimo entre 0 e 3 V_{cc} aproximadamente.

Para o ganho do circuito anterior tem-se a equação 3, onde V_m é o sinal de saída do sensor, e V é o sinal de aquisição da tensão CC.

$$V = Vm \cdot \left(1 + \frac{R6}{R5} \right) \quad (3)$$

3. PLACA DE INTERFACE DO DSP

A placa de interface do DSP tem a função de gerar, a partir de sinais analógicos provenientes dos sensores nas placas de aquisição, sinais PWM, através do DSP, e enviá-los por meio de fibra óptica até uma placa de interface conectada ao conversor PWM.

3.1 Conectores de Sinais Analógicos

Para adquirir os sinais dos sensores e enviá-los ao DSP, são usados três conectores

DB9, uma para sinais CA de tensão, um para tensão CC e um para corrente CA.

3.2 Interface com o Sistema de Processamento

O kit DSP TMS320F2812 é conectado na placa através de conectores mini header, de modo que não estejam em contato direto com a superfície da placa e também fixado nas quatro extremidades por parafusos, para garantir a sustentação da mesma.

3.3 Transmissores de Fibra Óptica

Os conectores emissores de fibra óptica usados são do tipo HFBR15X4. A fibra é usada com a finalidade de evitar problemas com a interferência eletromagnética entre as duas placas, já que ela possui a característica de não permitir pulsos elétricos como os outros sistemas de transmissão, garantindo isolamento elétrico entre os circuitos.

4. PLACA DE ADEQUAÇÃO DOS SINAIS “PWM” (*Pulse Width Modulation*) E ACIONAMENTO DO INVERSOR

A placa recebe sinais PWM provenientes do DSP, adapta os mesmos e faz o acionamento dos drives do módulo de potência.

Os sinais são obtidos através de 5 link's de fibra óptica, sendo 4 link's para sinais PWM e 1 link para um sinal de inibição. Para o projeto estão sendo utilizados apenas 3 link's para sinais PWM e 1 link para ENABE, a adaptação dos sinais parte da aquisição dos três sinais PWM, passam por um circuito lógico composto por portas NAND, onde obtém-se três pares de sinais PWM (um sinal e seu complementar), para a adequação dos sinais e isolamento são usados circuitos drives que acionam as chaves de potencia do inversor trifásico. O circuito acionamento é composto por transistores

para adequar o nível lógico a +15V. Esses sinais PWM comandam quatro braços de IGBT's.

4.2 Conectores de Fibra Óptica

No conector de fibra óptica é acoplado um cabo de fibra óptica de até 1mm, o sinal de saída é obtida através do pino 1 conectado ao pino 4, a alimentação é feita com +5V através do pino 3 e o GND é conectado ao pino 2, em paralelo ao conector também é ligado a alimentação um capacitor de 0,1 μ F, como filtro, conforme [7].

4.3 Conectores de saída

Os conectores fornecem aos drives alimentação e dois sinais PWM um sendo complemento do outro, para acionamento dos mesmos. São conectores latch de 14 pinos.

4.4 Circuito Lógico

Circuito lógico para gerar o complemento do sinal PWM e adequar o sinal para os drives, junto com o sinal de inibição. Composto por três portas lógicas NAND, segundo a Fig. 5.

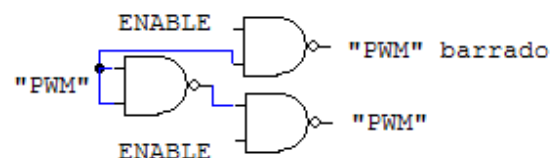


Figura 5. Circuito lógico.

5. INVERSOR TRIFÁSICO

O inversor trifásico opera como compensador de reativos de forma a manter a tensão regulada. Os IGBT's são acionados por drivers SKHI 22A, que recebem os dois sinais PWM, um complemento do outro, sendo nível lógico alto (1) com tensão de +15V, para o acionamento, segundo [8]. Os IGBT's tem por características $V_{CES} = 1200$

V , $I_C = 100$ A, $t_{d(on)} = 160$ ns e $t_{d(off)} = 310$ ns, descrito em [9]. Esquema do inversor trifásico na Fig. 6.

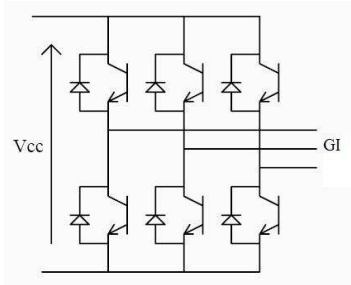


Figura 6. Inversor Trifásico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na aquisição da corrente CA e tensão de barramento CC, são utilizadas sensores de efeito “hall”, apesar de custo relativamente elevado, estes sensores são muito confiáveis e precisos.

A tensão CA é obtida através de sensores transformadores, baixo custo e atendem perfeitamente as necessidades do projeto.

O processamento das informações de tensão e corrente é feito através de um processador digital de sinais (DSP), o qual possui funções periféricas que facilitam a implementação de sistemas de controle

No controle do inversor trifásico são utilizadas fibras ópticas, apresentado vantagens como isolamento entre os circuitos de potência e controle, e velocidade de transmissão.

Resultados de simulações e experimentais foram obtidos com o protótipo a fim de demonstrar sua aplicação em pequenas centrais hidrelétricas.

Agradecimentos

Aos colegas Andressa Feyh, Giovane Gai Soares e Guilherme Sebastião da Silva pelo auxílio quando necessário para que o projeto tivesse sucesso.

Ao Departamento Municipal de Energia de Ijuí – DEMEI, pelo apoio financeiro.

5. REFERÊNCIAS

- [1] E. N. Marra and J. A. Pomilio. “Self-Excited Induction Generator Controlled by a VS-PWM Bidirectional Converter for Rural Applications” IEEE Transactions On Industry Applications, vol. 35, N°. 4, July/August 1999.
- [2] S. A. Daniel and N. A. Gounden. “A Novel Hybrid Isolated Generating System Based on PV Fed Inverter-Assisted Wind-Driven Induction Generators” IEEE Transactions On Energy Conversion, vol. 19, N°. 2, June 2004.
- [3] T. Ahmed, K. Nishida and M. Nakaoka. “Advanced Control of PWM Converter With Variable-Speed Induction Generator” IEEE Transactions On Industry Applications, vol. 42, n°. 4, July/August 2006;
- [4] S. B. Singh, S. Murthy and S. Gupta. “Analysis and Design of Electronic Load Controller for Self-Excited Induction Generators” IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 21, N°. 1, March 2006, pp. 285-293.
- [5] Datasheet do sensor LA-100P;
- [6] Datasheet do sensor LV-20P;
- [7] Datasheet do receptor de fibra óptica HFBR-25X1.
- [8] Datasheet do drive SKHI 22A.
- [9] Datasheet do módulo de IGBT’s SKM75GB128D.